

**PENGENDALIAN SUHU DAN WAKTU PROSES FERMENTASI DALAM  
PEMBUATAN YOGHURT BERBASIS *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL* DAN  
*HUMAN MACHINE INTERFACE***


**PUBLIKASI JURNAL SKRIPSI**



Disusun Oleh:

**NUNI HUTAMI STANTO  
NIM. 105060307111010 – 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2014**

	<p>KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO Jalan MT Haryono 167 Telp &amp; Fax. 0341 554166 Malang 65145</p>	<p><b>KODE PJ-01</b></p>
---	---	------------------------------

**PENGESAHAN**  
**PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI**  
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**NAMA** : NUNI HUTAMI STANTO  
**NIM** : 105060307111010  
**PROGRAM STUDI** : TEKNIK ELEKTRONIKA  
**JUDUL SKRIPSI** : PENGENDALIAN SUHU DAN WAKTU PROSES FERMENTASI  
DALAM PEMBUATAN YOGHURT BERBASIS  
*PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL DAN HUMAN MACHINE  
INTERFACE*

**TELAH DI-REVIUW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:**

**Pembimbing 1**

**Pembimbing 2**

**Mochammad Rif'an, ST., MT**  
**NIP. 19710301 200012 1 001**

**Rahmadwati, ST., MT., Ph.D**  
**NIP. 19771102 200604 2 003**

# PENGENDALIAN SUHU DAN WAKTU PROSES FERMENTASI DALAM PEMBUATAN YOGHURT BERBASIS *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL* DAN *HUMAN MACHINE INTERFACE*

Nuni Hutami Stanto,<sup>1</sup>, Mochammad Rif'an, ST., MT.,<sup>2</sup>, Rahmadwati, ST., MT., Ph.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, <sup>2</sup>Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: [nunihstanto@gmail.com](mailto:nunihstanto@gmail.com)

**Abstrak**—Yoghurt adalah suatu produk fermentasi yang diperoleh dari susu segar dengan biakan campuran *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* memiliki suhu optimum 45°C dan 35°C untuk hidup. Untuk itu, dalam pembuatan Yoghurt harus memperhatikan lingkungan (suhu) kedua mikroorganisme, agar mikroorganisme tersebut dalam produk akhirnya bisa hidup aktif dan berlimpah sehingga didapatkan keasaman yang sesuai. Pengendalian suhu antara 40-45°C sangat diperlukan pada proses fermentasi untuk mempercepat prosesnya menjadi (4-6 jam) dan menciptakan habitat yang baik untuk perkembangan mikroorganisme. Penelitian ini menggunakan sensor PT100 sebagai sensor utama untuk parameter pengontrol suhu dalam proses fermentasi dan Sensor pH *Glass Electrode* digunakan untuk mengetahui pH hasil proses fermentasi. PLC digunakan sebagai alat pengontrol utama dengan kontroler Proposional Integral. Proses perancangan kontroler Proposional Integral menggunakan metode Ziegler-Nichols. Pengujian akhir pada sensor suhu PT100 menunjukkan kerja yang baik dengan prosentase kesalahan 0,433% dan *Glass Electrode* setelah dikuatkan sebesar 2,0998%. Hasil perhitungan parameter PI dengan metode Ziegler Nichols didapatkan nilai parameter PI terbaik yaitu  $K_p = 13,3$  dan  $T_i = 0,833$  menit.

**Kata Kunci**—Yoghurt, susu, PLC.

## I. PENDAHULUAN

Yoghurt adalah suatu produk fermentasi yang diperoleh dari susu segar dengan biakan campuran *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*[1]. Yoghurt memiliki banyak manfaat untuk kesehatan tubuh manusia, contohnya dapat dikonsumsi oleh penderita *laktose intolerance*, yaitu gejala tidak tahan terhadap gula susu (laktosa). Dengan proses pengolahan susu menjadi yoghurt dapat menurunkan sekitar 25 persen kadar laktosa yang ada, sehingga jika dikonsumsi oleh penderita tersebut, tidak menyebabkan terjadinya gejala-gejala yang merugikan [2].

Suhu optimum bagi pertumbuhan *Streptococcus Thermophilus* adalah 37°C dan *Lactobacillus bulgaricus* 45°C [3]. Jika kedua bakteri itu diinokulasi pada suhu 45°C (pH 6,6 - 6,8), *S. Thermophilus* mula-mula tumbuh lebih baik dan setelah pH menurun karena dihasilkan asam laktat, maka *L. bulgaricus* akan tumbuh lebih baik [4]. Untuk itu, dalam pembuatan Yoghurt harus memperhatikan lingkungan (suhu) kedua mikroorganisme tersebut. Hal ini bertujuan agar mikroorganisme tersebut dalam produk akhirnya bisa hidup aktif dan berlimpah sehingga didapatkan keasaman yang sesuai (pH 4-4,5). Pengendalian suhu sangat diperlukan pada proses

fermentasi karena pada umumnya proses fermentasi relative lama ketika mengharapkan habitat yang baik untuk perkembangan mikroorganisme.

Kontroler Proposional Integral merupakan salah satu jenis kontroler yang banyak digunakan saat ini. Proposional Integral digunakan dalam pengendalian suhu karena pengontrolannya relatif cepat sehingga lebih cepat dalam mengambil sebuah keputusan. Diharapkan dengan menggunakan kontroler Proposional Integral, suhu dapat dikendalikan.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka dalam penelitian ini dirancang sebuah perangkat yang mampu mengendalikan suhu sistem fermentasi dengan cara mengendalikan putaran dimmer yang menentukan besar kecilnya nyala api. Komponen pengendalian yang digunakan berbasis *Programmable Logic Control* (PLC).

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah terbuatnya perangkat fermentasi susu yang mampu menghasilkan pH yang baik untuk kesehatan (4-4,5 pH) dengan cara mengendalikan suhu antara (40°C-45°C) dan menentukan waktu efektif (4-6 jam) berbasis PLC dan HMI.

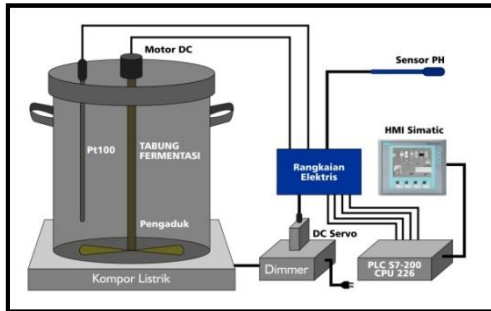
## II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

### A. Penentuan Spesifikasi Alat

Penentuan spesifikasi alat ini, bertujuan agar dapat dibuat alat fermentasi sesuai dengan yang direncanakan dan dapat bekerja dengan efektif serta efisien. Alat yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Alat mampu melakukan fermentasi susu dengan memperhatikan habitat hidup bakteri fermentasi susu sehingga akan didapatkan hasil pH yoghurt antara 4-4,5.
2. Menggunakan sensor suhu untuk mengetahui suhu susu selama proses fermentasi.
3. PLC digunakan sebagai pengontrol utama.
4. Menggunakan kompor listrik induksi untuk menghasilkan panas.
5. Menggunakan Analog to Digital Converter, yang digunakan sebagai pengubah data analog ke digital sehingga dapat diolah oleh PLC.
6. Menggunakan pengaduk untuk meratakan panas pada susu.
7. Bentuk fisik alat berupa panci konvensional dengan pengaduk agar alat dapat bekerja dengan baik.
8. Sampel volume susu sebesar 1,5 liter, dengan hasil akhir setelah fermentasi adalah yoghurt.

Berdasarkan spesifikasi yang dibutuhkan, dibuatlah perancangan sistem fermentasi. Gambar1 menunjukkan perancangan sistem fermentasi susu.

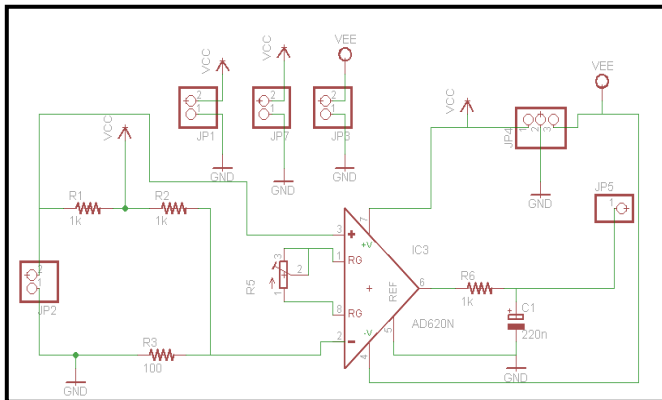


Gambar 1. Sistem Fermentasi Susu

#### B. Perancangan Rangkaian Sensor Suhu PT100

Perancangan rangkaian sensor PT100 digunakan untuk mengukur suhu 0-70°C. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistive Temperature Detector*), untuk mengubah besar resistansi PT100 ke dalam suatu tegangan, dibutuhkan rangkaian jembatan wheatstone dengan tegangan keluaran sebesar 0-0,1132V. Jembatan Wheatstone dihubungkan dengan rangkaian pengondisi sinyal AD620. AD620 merupakan sebuah IC yang berisi rangkaian penguat instrumentasi. Besarnya Gain yang digunakan sebesar 43,9929 kali untuk menghasilkan output yang sesuai dengan mengatur  $R_g$  sebesar 1,149 k $\Omega$ .

Keluaran penguat instrumentasi kemudian dihubungkan pada rangkaian *low pass filter* untuk meredam *noise*. Rangkaian *low pass filter* dibuat dengan komponen pasif yaitu R dan C yang masing – masing bernilai 1000 ohm dan 220 nF agar dapat meredam frekuensi diatas 723,7985 Hz. Gambar 2 menunjukkan skematik dari rangkaian pengondisi sinyal PT100.

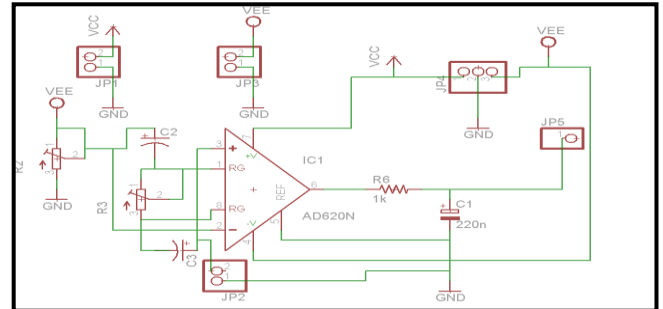


Gambar 2. Skematik Rangkaian PT100

#### C. Perancangan Rangkaian Sensor Glass Electrode

Sensor *Glass Electrode* adalah elektroda pH yang memiliki range pengukuran pH dari 0-14. Berdasarkan pengujian, didapatkan sensitivitas sensor pH sebesar 52,8 mV/pH unit. Elektroda pH dihubungkan dengan IC penguat instrumentasi sama dengan yang digunakan pada sensor suhu, yaitu IC AD620 dengan besar Gain 5 kali, karena jika digunakan lebih dari itu, keluaran yang dihasilkan akan lebih besar dari keluaran maksimal Arduino Mega. Besarnya Gain ditentukan

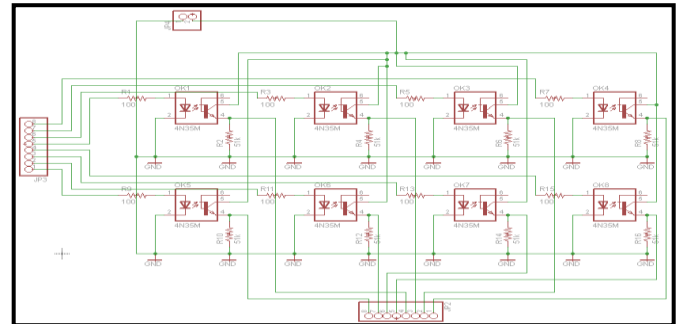
dengan  $R_g$  sebesar 12,35 k $\Omega$ . Keluaran penguat instrumentasi kemudian dimasukkan pada rangkaian *low pass filter* dengan besar resistansi dan kapasitansi sebesar 10000 ohm dan 100  $\mu$ F agar dapat meredam frekuensi diatas 1,592 Hz. Gambar 3 menunjukkan skematik dari rangkaian pengondisi sinyal sensor *Glass Electrode*.



Gambar 3. Rangkaian Skematik Sensor Glass Electrode

#### D. Perancangan Rangkaian ADC

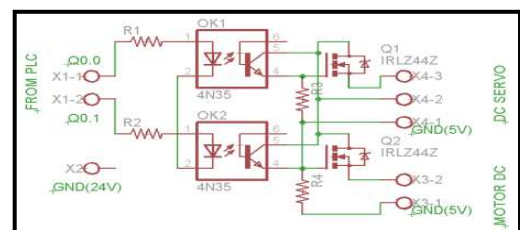
Rangkaian ADC merupakan rangkaian *driver* optik yang menggunakan *optocoupler* 4N35 untuk menaikkan tegangan dari ADC Arduino Mega sebesar 5V menjadi 24V agar dapat diterima PLC sekaligus sebagai isolator listrik antara rangkaian ADC dengan PLC. Gambar 4 menunjukkan skematik dari rangkaian optocoupler.



Gambar 4. Skematik Rangkaian ADC

#### E. Perancangan Driver Motor DC dan Servo

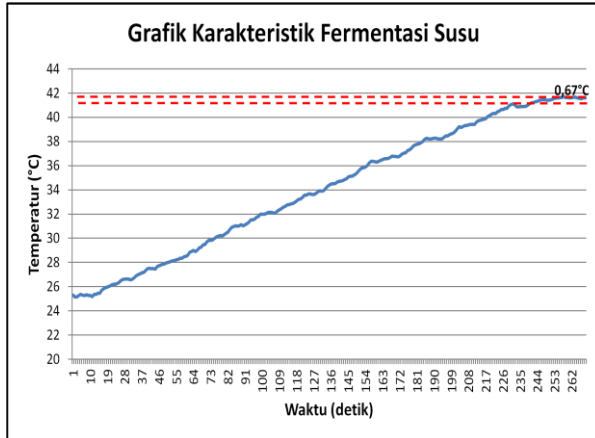
*Driver* motor digunakan sebagai pengendali putaran motor servo dan motor DC. *Driver* motor yang digunakan adalah E-MOSFET N-channel jenis IRLZ144N. Sebelum dihubungkan dengan E-MOSFET rangkaian driver dihubungkan dengan pengendali optik *optocoupler* 4N35 untuk mengubah tegangan sebesar 24V menjadi 5V, karena kedua motor hanya dapat bekerja pada tegangan maksimal 6 V. Selain itu komponen tersebut juga harus dapat memisahkan rangkaian *driver* motor dan PLC secara elektronis. Gambar 5 menunjukkan Skemati rangkaian driver.



Gambar 5. Skematik Driver

## F. Perancangan Kontroler

Alat fermentasi susu dengan kompor listrik yang digunakan memiliki daya maksimal 700 Watt dan menggunakan elemen pemanas berupa energi elektromagnetik sebagai penghantar panasnya. Gambar 6 merupakan grafik karakteristik alat fermentasi susu. Dimana Waktu yang diperlukan alat untuk mencapai suhu 41° C adalah 231 detik atau 3,85 menit. Sedangkan waktu yang diperlukan alat tersebut untuk mencapai suhu *steady* (41,6° C) adalah 258 detik atau 4,3 menit. Dengan demikian waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai *steady* dari kedudukan *setpoint*nya adalah 27 detik atau 0,45 menit.

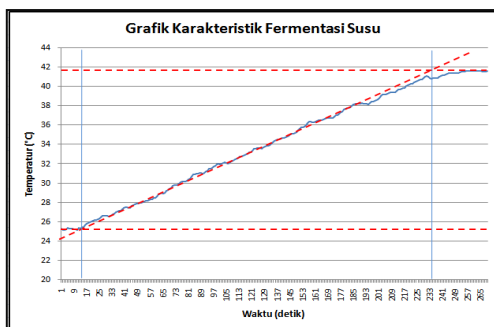


Gambar 6. Karakteristik Alat Fermentasi

Tuning Kp menggunakan metode Ziegler-Nichols 1 seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1. Dengan menarik garis tangen pada titik infleksi grafik karakteristik plant. Didapatkan nilai Kp sebesar 13,3 seperti dalam Persamaan 1 dan nilai Ti 0,833 menit seperti dalam Persamaan 2. Gambar 7 menunjukan Tuning dengan Metode Ziegler-Nichols 1. Gambar 8 menunjukkan hasil kontroler PI.

Tabel 1. Aturan Tuning Ziegler-Nichols Metode 1 [5]

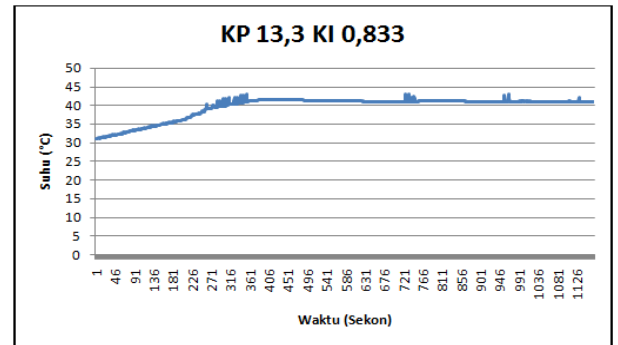
Type of Controller	$K_p$	$T_i$	$T_d$
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0



Gambar 7. Tuning dengan Metode Ziegler-Nichols 1

$$K_p = \frac{T}{L} = \frac{221}{15} = 13,26 \approx 13,3 \dots \dots \dots (1)$$

$$K_i = \frac{1}{0,3} = \frac{15}{0,3} = 50 \approx 50 \dots \dots \dots (2)$$

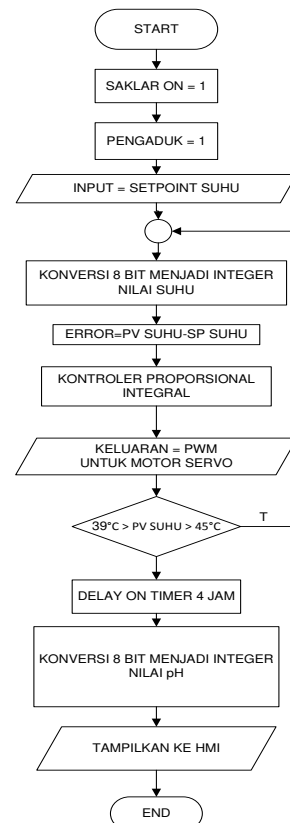


Gambar 8. Grafik Respon Sistem Dengan KP 13,3 dan TI 50

## G. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan membuat diagram alir program terlebih dahulu sebelum kemudian menuliskan dengan menggunakan bahasa C dalam program kompilator ERW 1.0.5. Untuk menyederhanakan pola berpikir maka perancangan perangkat lunak dibagi menjadi 3 yaitu algoritma program utama dan algoritma dari masing-masing sensor yang digunakan, suhu dan sensor elektroda pH.

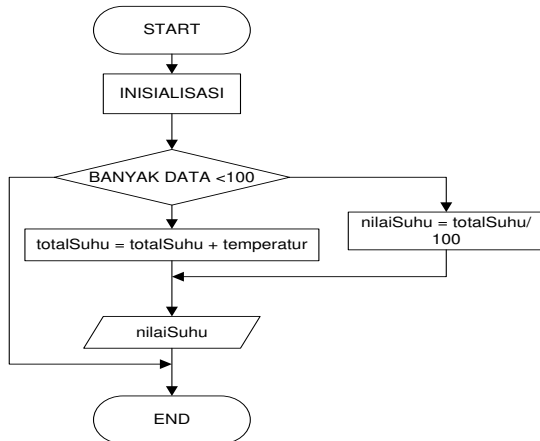
Tujuan dari program utama adalah mengatur urutan kerja sistem sehingga sistem mampu menjalankan fungsinya dengan baik. Secara umum tugas yang harus dikerjakan oleh program utama meliputi sistem pembacaan sensor kemudian menampilkan data ke HMI, memberikan PWM dan menjalankan kontrol PI. Algoritma program utama ditunjukkan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Flowchart Program Utama

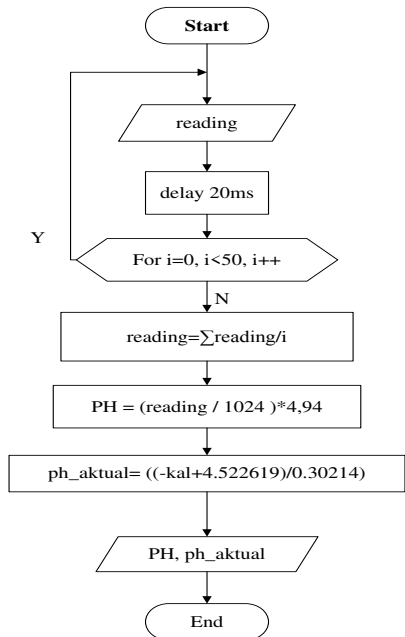
Sensor suhu harus melalui ADC Arduino Mega terlebih dahulu sebelum dapat diakses oleh PLC. Sensor mengukur

suhu sampai kondisi yang diinginkan, Arduino menerima data pembacaan sensor dan diteruskan ke PLC. Algoritma akses sensor pH ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Flowchart Sensor Suhu

Sensor pH harus melalui ADC Arduino Mega terlebih dahulu sebelum dapat diakses oleh PLC. Sensor mengukur pH sampai kondisi yang diinginkan, Arduino menerima data pembacaan sensor dan diteruskan ke PLC. Algoritma akses sensor pH ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 11. Flowchart Sensor pH

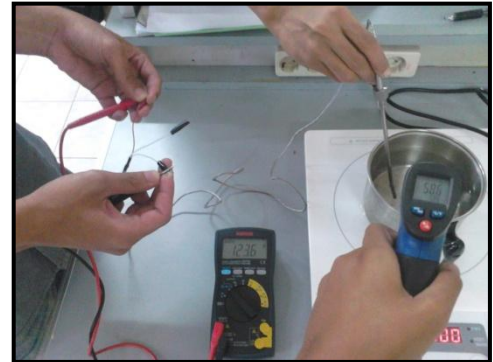
### III. Pengujian dan Analisis

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat bekerja sesuai perancangan.

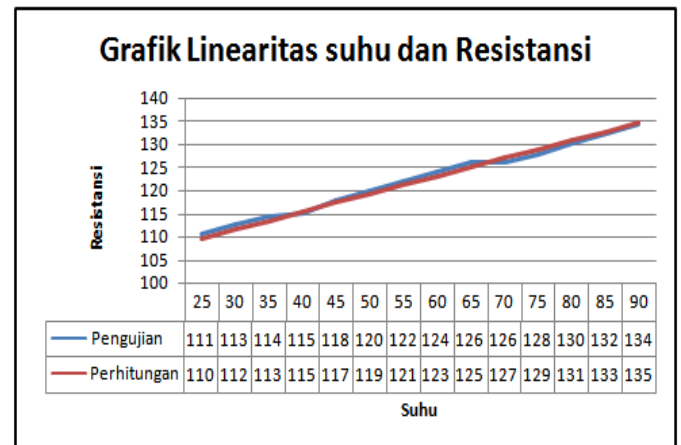
#### A. Pengujian Sensor Suhu PT100

Pengujian Sensor Suhu bertujuan untuk Mengetahui kemampuan pembacaan sensor PT100 terhadap perubahan suhu dengan melihat perubahan resistansi sensor PT100. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan rangkaian

seperti dalam Gambar 12. Gambar 13 menunjukkan hasil keluaran sensor suhu.



Gambar 12. Pengujian Sensor Suhu PT100

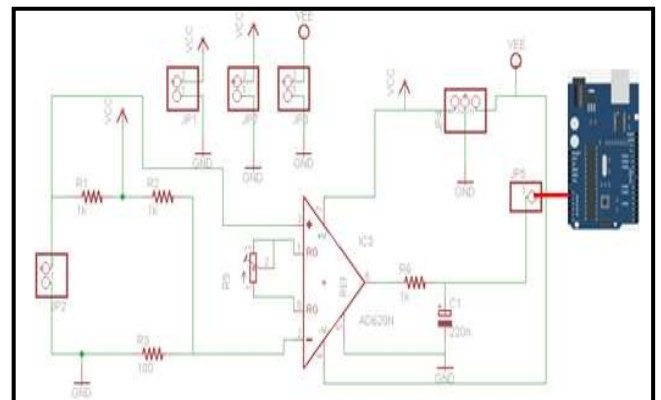


Gambar 13. Hasil Keluaran Sensor Suhu

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu mampu mendeteksi perbedaan suhuan penyimpangan atau error rata-rata yang didapatkan adalah sebesar 0,61%.

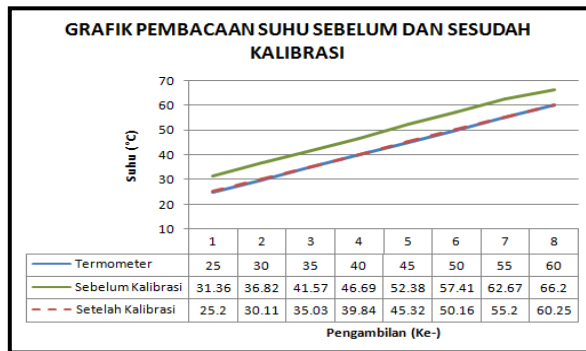
#### B. Rangkaian Pengondisi Sinyal (RPS)

Pengujian rangkaian pengondisi sinyal analog PT 100 bertujuan untuk mengetahui kemampuan rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 terhadap perubahan suhu melalui *Serial Monitor* Arduino ERW 1.0.5.. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan rangkaian seperti dalam Gambar 14. Gambar 15 menunjukkan hasil keluaran sensor



Gambar 14. Pengujian RPS Sensor Suhu





Gambar 15. Hasil Keluaran Sensor PT100

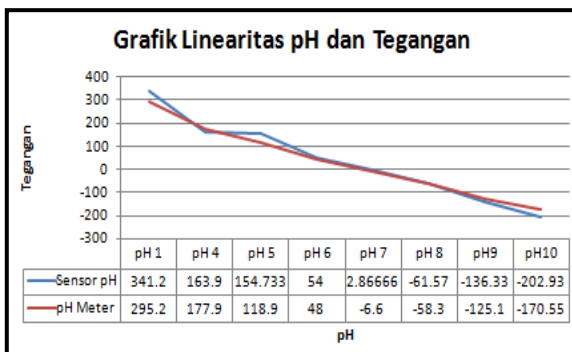
Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu mampu mendeteksi perbedaan suhu dengan error sebelum dikalibrasi sebesar 17,39% dan error setelah dikalibrasi adalah 0,433%.

### C. Pengujian Sensor pH Glass Electrode

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besar tegangan keluaran sensor pH. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan rangkaian seperti dalam Gambar 16. Gambar 17 menunjukkan keluaran sensor pH dan pH meter.



Gambar 16. Pengujian Sensor pH

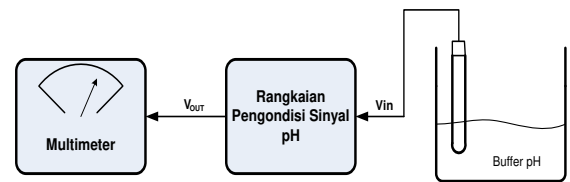


Gambar 17. Hasil Pengujian Sensor Glass Electrode

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pH dapat mendeteksi perbedaan pH dengan sensitivitas 52,8 mV/pH.

### D. Pengujian Pengondisi Sinyal (RPS)

Pengujian rangkaian pengondisi sinyal pada sensor pH bertujuan untuk mengetahui kemampuan rangkaian pengondisi sinyal sensor Glass Electrode terhadap perubahan pH melalui Serial Monitor Arduino ERW 1.0.5. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan rangkaian seperti dalam Gambar 18. Tabel 2 menunjukkan hasil keluaran sensor Glass Electrode.



Gambar 18. Pengujian RPS Sensor pH

Tabel 2. Hasil Pengujian RPS Sensor pH

pH	Vin (mV) Teori	Vout Teori (Volt)	Vout Paktek (Volt)	Error (%)
4	177,9	3,389	3,32	2,0644
5	118,9	3,0945	3,01	2,7306
6	48	2,74	2,70	1,5641
7	-6,6	2,467	2,492	2,0402
Error Rata-Rata (%)				2,09988

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu mampu mendeteksi perbedaan pH buffer dan error setelah dikalibrasi adalah 2,09988%.

### E. Pengujian Motor DC Servo

Pengujian Motor DC Servo memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan pulsa PWM terhadap sudut putaran dan duty cycle pada motor DC servo. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian motor DC Servo.

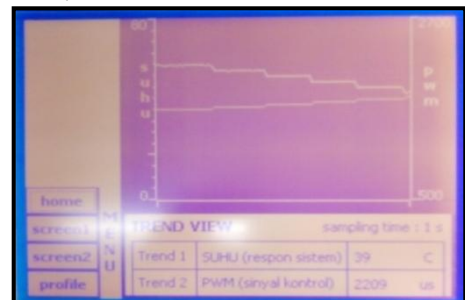
Tabel 3. Hasil Pengujian Motor DC Servo

Pulse(μs)	Sudut DC Servo (°)	Duty cycle pengujian (%)	Duty cycle perhitungan (%)
2000	167.5	10.4	10
2100	180	11.2	10.5
2200	190	11.2	11
2300	197.5	12	11.5
2400	210	12	12
2500	215	12.8	12.5

Berdasarkan data dalam Tabel 3 menunjukkan bahwa semakin besar pulsa PWM diberikan, maka sudut putaran servo yang didapatkan semakin besar.

### F. Pengujian HMI

Pengujian HMI bertujuan untuk melihat kemampuan HMI Simatic HMI Panel TP177 Micro untuk menampilkan grafik pembacaan suhu dan PWM. Gambar 19 menunjukkan hasil pengujian HMI.



Gambar 19. Hasil Keluaran HMI

Hasil pengujian HMI ditunjukkan dalam Gambar 19. HMI dapat menampilkan *trend view* suhu dan PWM secara *realtime* dengan baik.

#### G. Pengujian Keseluruhan

Pengujian secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem Alat fermentasi setelah setiap bagian- bagian penyusun sistem dihubungkan menjadi suatu kesatuan yang utuh.

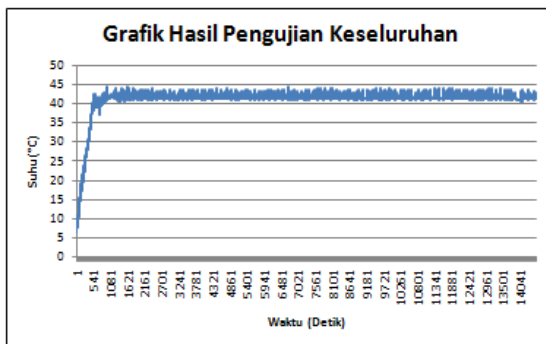
Tahap pengujian yang terlebih dahulu dilakukan adalah menghidupkan catu daya. Setelah itu menyiapkan program dengan menggunakan Software Step 7 Micro/Win untuk PLC dan Software Arduino ERW 1.0.5 untuk ADC sistem. Memasukkan nilai parameter Kp, setpoint yang diinginkan kedalam ladder PLC dari hasil perhitungan

Setelah tahap diatas dilakukan, berikutnya adalah memasukan susu yang sudah dipasteurisasi ke dalam tabung, setelah dimasukan, tekan saklar start dan amati proses fermentasi.

Ketika proses fermentasi menunjukkan suhu 39°C, masukan stater fermentasi dan amati lagi proses fermentasi tersebut. Gambar 20 menunjukan alat selama dalam fermentasi.



Gambar 20. Proses Fermentasi



Gambar 21. Grafik Hasil Pengujian Keseluruhan

Hasil pengujian keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 21 dan hasil yoghurt dari proses fermentasi ditunjukkan dalam Gambar 22. Berdasarkan analisis kinerja pengujian sistem secara keseluruhan, maka sistem pengendalian suhu pada alat fermentasi susu dapat berjalan dengan baik menggunakan parameter  $K_p=13,3$  dan  $T_i=0,833$ , *ladder diagram* yang terdapat pada PLC juga dapat bekerja dengan baik dan sesuai keinginan, serta HMI mampu menampilkan data suhu dan

PWM secara *realtime*. Hasil keasaman yang diperoleh pada proses fermentasi adalah 4,45.



Gambar 22. Yoghurt Hasil Fermentasi

## IV. Kesimpulan dan Saran

### A. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, sensor suhu PT100 dan pH *Glass Electrode* menghasilkan keluaran dengan rata-rata penyimpangan 0,433% dan 2,09988% menunjukkan kerja sensor yang baik. Parameter yang dibutuhkan untuk mengendalikan suhu dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols dalam menentukan parameter Kp dan Ti, didapatkan Kp yang sesuai untuk sistem yaitu  $K_p=13,3$  dengan  $T_i=0,833$  menit. Setelah diimplementasikan, sistem fermentasi susu dapat mencapai *setpoint* 41° C. *Ladder diagram* pada PLC dapat bekerja dengan baik karena dapat menjaga suhu antara 39-41,42° C selama 4jam sesuai dengan standar fermentasi susu. HMI pada penelitian ini mampu menampilkan *trend view* suhu dan PWM secara *realtime*. Hasil kadar keasaman yang didapatkan adalah pH 4,45.

### B. Saran

Beberapa saran yang diberikan untuk perbaikan skripsi ini antara lain:

- Kecepatan dan panjang pengaduk pada proses fermentasi sebaiknya lebih diperhatikan, agar keasaman yang dihasilkan diatas dasar dan permukaan tabung sama.
- Penempatan sensor PT100 juga harus diperhatikan dan hendaknya lebih mendekati bagian dasar tabung fermentasi agar tidak timbul kerak pada dasar tabung karena perbedaan pembacaan suhu di permukaan dan dasar tabung.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Heson, A dan M Trout. 1964. Judging dairy products. Fourth Edition . The olsen publishing company. Milmanke.
- [2] Winamo, F.G . 1980. Gula susu dan laktose intolerance. Di dalam Kompas 27 Juli .
- [3] Helferich, W and D . Westhoff. 1980. All about yoghurt prentice-Hall, Mc, Engel Wood-Cliffs. New Jersey.
- [4] A.Y, Tamime, 1999. Yoghurt Science dan Technology, Page 9, CRC Press.
- [5] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.